

# ダイオキシン問題と健康リスク

米元純三 Junzo YONEMOTO

国立環境研究所 地域環境研究グループ 化学物質健康リスク評価研究チーム

はじめに

最近、ゴミ焼却場周辺の汚染や、母乳の汚染などダイオキシンに対する社会的関心が高まっている。日本におけるダイオキシン汚染の現状と、健康へのリスクについて概観してみたい。

ダイオキシン類とその歴史的背景

塩素化ダイオキシン、塩素化ジベンゾフラン、PCBのうち平面構造をとるコプラナー PCB を総称してダイオキシン類と呼んでいる(図1)。ダイオキシン類は塩素の入る位置と数によって多くの異性体が可能である。それらの存在量や毒性を個別に表すのは大変煩雑であるので、アリルヒドロカーボン(Ah)レセプターという受容体を介して、その作用を及ぼすという共通の作用メカニズム

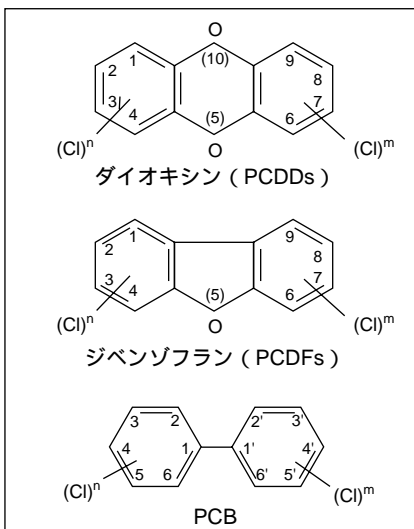


図1 ダイオキシン類

をもつ化合物については、一番毒性の強い2,3,7,8-四塩化ジベンソp-ダイオキシン(TCDD)を1として、それに対する相対的な毒性の強さ、毒性等価係数(TEF)が定められている。環境中のダイオキシン類は単独の物質として存在していることはまれで、多くの場合、混合物として存在している。混合物としてのダイオキシン類の量は、個々の化合物のTEFに存在量をかけたものの和、毒性等価量(TEQ)として表される(図2)。

ダイオキシンの名が広く知られるようになったのは、ベトナム戦争で使用された枯葉剤に不純物としてダイオキシンが含まれていて、奇形をはじめとする生殖障害が報告されてからと思われる。ダイオキシンそのものは1872年に合成されたが、ダイオキシン汚染の問題が顕在化するのには農薬の2,4,5-Tの生産が開始された第二次世界大戦後のことである。

1949年モンサント社の2,4,5-T製造工場での事故をはじめ、1950年代、60年代に2,4,5-T、TCP製造過程で数件の事故が発生し、労働者がダイオキシンに曝露された。1976年にはイタリア、セベソの化学工場爆発事故があり、周辺環境がダイ

オキシンで汚染され、多くの住民が被曝した。1971年にはミズーリ州のタイムズビーチ、1978年には産業廃棄物の埋立地であるニューヨーク州のラブキャナルで汚染事故が起きている。米ぬか油にダイオキシン類が混入し、健康被害が起きるという事件が1968年に日本で、1979年に台湾で起きている。家畜の飼料に用いられた油がダイオキシンに汚染されていたことによる、ニワトリヒナの大量死が1957年にアメリカで、鶏肉などの汚染が1999年にベルギーで起きている。ダイオキシンの汚染は農薬に含まれる不純物や産業廃棄物に由来すると考えられていたが、1976年オランダで都市ゴミ焼却場の排ガスからダイオキシンが検出された。わが国でも1983年に検出されている。1978年にダウケミカル社はダイオキシンの燃焼発生源説、いわゆる『火の仮説』を提唱した。確かに自然発火による森林火災でもダイオキシンが発生することから、ダイオキシンは大昔から環境中に存在していたと考えられる。実際、底質のコアサンプルや過去の土壌サンプルなどで年代ごとの変化を見てみると、かなり昔からダイオキシン

毒性等価係数	:	TEF (Toxic Equivalency Factor)
毒性等価量	:	TEQ (Toxic Equivalent)
$TEQ = [PCDD\ i] \cdot TEF\ i + [PCDF\ i] \cdot TEF\ i + [PCB\ i] \cdot TEF\ i$		

図2 毒性等価係数(TEF), 毒性等価量(TEQ)

が検出される。しかしながら、今世紀から急激な増加が始まっており、化学工業の急速な発展との関連が示唆されている。

ダイオキシンの毒性評価やリスク評価については、1978年にはコシバラがラットで発がん性を認めている。1986年には米国環境保護庁(EPA)は毒性等価係数(TEF)を発表した。1988年にNATOのI-TEF、1993年にWHOのTEFが出され、1997年に改訂された。日本の一日耐容摂取量(TDI)は1996年に厚生省が10 pg/kg/day、環境庁が健康指針値として5 pg/kg/dayとしたが、1998年のWHOのTDIの改訂(1~4 pg/kg/day)をうけて1999年に4 pg/kg/dayとされた。わが国のダイオキシンの削減対策は欧米諸国に比べ大きく出遅れた。1990年代のゴミ焼却場、産業廃棄物処理場周辺の汚染などが社会問題化する中で、ようやく1996年にいわゆる「新ガイドライン」が示され、削減対策が始まった。1999年にはダイオキシン対策関係閣僚会議でダイオキシン対策推進基本指針が決定され、今後4年以内にダイオキシン類の排出総量を9割削減するとした。また、ダイオキシン類特別措置法が公布された。

#### ダイオキシンの生成と発生源

ダイオキシンの生成過程には大きく分けて3つある。一つはクロロフェノールやそれを出发点とする農薬などの製造過程、一つはゴミ焼却などの燃焼過程、もう一つは塩素殺菌や塩素漂白の過程である。燃焼過程では塩化ベンゼンがダイオキシン類の前駆物質であると考えられている。したがって塩化ベンゼンの生成しやすい塩素を含んだプラスチックなどの燃焼は、ダイオキシン類が生成しやすい。食塩がダイオキシン

表-1 各国における大気へのダイオキシン排出インベントリ

主な発生源	アメリカ 1995年 g(I-TEQ)*	ドイツ 1994年 g(I-TEQ)	スウェーデン 1993年 g(N-TEQ)**	日本 1997年 g(I-TEQ)	日本 1998年 g(I-TEQ)
一般ゴミ焼却	492~2460	30	3	4320	1340
有害廃棄物焼却	2.72~14	2	0.007		
産業廃棄物焼却				1300	960
医療廃棄物焼却	151~1510	0.1	0.001		
未規制小型焼却炉				325~345	325~345
火葬場	0.07~0.75	2.38	0.37~0.73	1.8~3.8	1.8~3.8
製鋼用電気炉				187	114.7
製鉄プラント		181.02	2.007~19.49	120.2	101.6
非鉄プラント	177.13~1767.45	91.6	4.43~4.57	62.036	42.036
交通(自動車排ガス)	12.6~126	4.8	0.872~2.88	2.14	2.14
タバコ喫煙	0.25~2.5			0.075~13.2	0.079~13.9
総量	1026~7541	334	22~88	6330~6370	2900~2940

(ダイオキシン排出抑制対策検討会第二次報告, 1999.6より)

\* I-TEQ: International TEF (1988)による換算値

\*\* N-TEQ: Nordic TEF (1988)による換算値

の塩素源になりうるかということがよく問題になるが、食塩が塩化水素、塩素ガスになる触媒の存在などの条件が必要と考えられている。そのような条件のもとではダイオキシンは生成するが、生成のしやすさという点では低いと考えられる。

ダイオキシンの生成過程は以上みてきたとおりであるが、どのような発生源からどのくらい発生しているかという発生源目録(インベントリ)が推定されている。表-1に諸外国と日本(1997年, 1998年)の発生源目録を示す。わが国ではゴミの焼却率が高く、ダイオキシン発生量の90%以上が廃棄物焼却炉由来である。総排出量は、1997年の約6300gから1998年には約2900gと半減した。これは規制導入により、もっとも寄与率の高い一般廃棄物焼却炉からの排出が大幅に減ったためである。これに伴って排出源ごとの寄与率も変わり、未規制焼却炉の寄与率が5%から11%と拡大し、未規制焼却炉が無視できない存在となってきている。一方、諸外国でも廃棄物焼却由来の排出が多いが、対策の進んだドイツ、スウェーデンでは総排出量も少なく、廃棄物焼却より

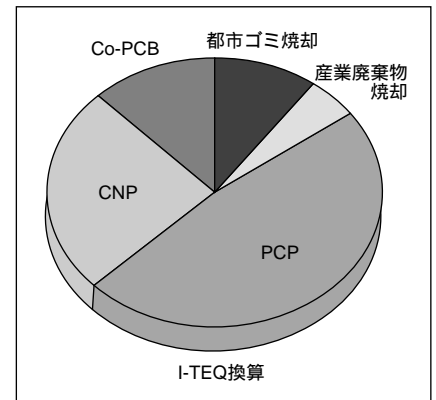


図-3 1955~1995の40年間の総ダイオキシン類放出割合の推定(Masunaga, 1999)より作成

も冶金プロセスからの排出の方が多くなっている。これらは最近の排出インベントリであるが、過去においては水田除草剤として使われたペンタクロロフェノール(PCP)、クロロニトロフェン(CNP)に不純物としてダイオキシンが含まれていたため、これらの農薬の使用によるダイオキシンの環境への放出が相当量あったことが指摘されている(図-3)。過去において相当量の土壌汚染があったことが推測され、これらがどの程度、人の摂取量に関連しているかに関心のもたれるところである。

ダイオキシンの摂取, 代謝, 分布, 排泄  
われわれは、食物、空気、水から

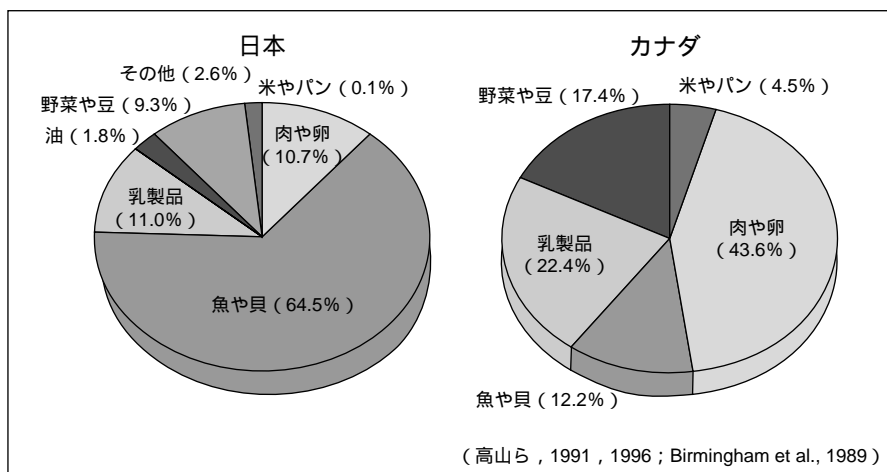


図4 ダイオキシン摂取の比較

ダイオキシンを摂取している。摂取量の大半は食物由来である。ダイオキシンの摂取量はどのような食物を摂取するかによって大きく変わる。図4は、食品別の寄与度を日本とカナダとで比較したものである。わが国では魚介類の寄与が大きく、他方、カナダでは乳製品、肉類の寄与が大きい。空気からの摂取は大気中の濃度に依存する。わが国ではゴミ焼却からのダイオキシンの排出が多いこともあって、大気中の濃度は対策の進んでいる国に比べて10倍以上高い。わが国は魚食が多く、大気中の濃度も高いことからダイオキシン類の摂取量も高いと思われる。わが国の都市域に住む人の平均的な摂取量は0.52~3.53 pg/kg/day、魚食の多い人は1.90~5.28 pg/kg/dayと推定されている。

摂取されたダイオキシン類は血流によって各組織に到達する。肝臓と脂肪に主に蓄積するが、人の場合は脂肪により多く蓄積する。一般的にダイオキシン類の代謝は非常に遅い。ヒトの場合、ダイオキシン類は主に糞中に排泄される。一部は腸管から再吸収される。ダイオキシン類の排泄速度は種により大きく異なる。マウス、ラットでは半減期が10~20日前後であるのに対して、ヒトの場合は7~11年という半減期が報告さ

れている。ヒトの場合のもっとも効率のよい排泄経路は母乳である。授乳に伴う母乳中の濃度の減少を図5に示す。一人の乳児を授乳すると母親の持っている体内蓄積量の約半分を排泄するといわれている。したがって母乳中のダイオキシン類の濃度、母乳中のダイオキシン類の子への影響が問題となるわけである。

#### ダイオキシンの作用と健康への影響

ダイオキシンはAhレセプターという受容体を介してその多くの作用を及ぼしていると考えられている。受容体を介した作用機序はホルモン、成長因子、サイトカインに特徴的なものである。ダイオキシンは酵素の誘導、成長因子、ホルモンおよびそれらの受容体を変化させ、通常ホメオスタシスとホルモンバランスを変化させ、細胞の増殖、分化に影響を与えられられる。このような作用は内分泌攪乱そのものであり、ダイオキシンを内分泌の攪乱因子とみなすと、組織特異的、発生段階特異的、時期特異的なダイオキシンの作用をより理解できる。

ヒトの健康への影響としては発がん、生殖機能、発生過程への影響、免疫機能への影響があげられる。発がんについては、比較的高濃度に曝露した工場労働者の疫学研究で、部

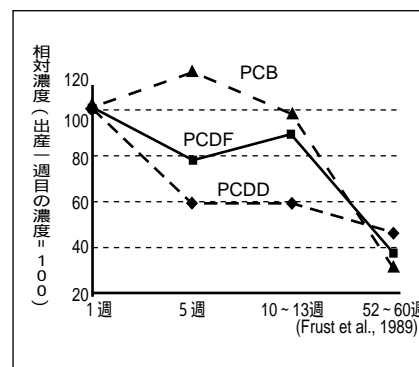


図5 母乳中のPCDD, PCDF, PCBの出産後の相対濃度推移

位を特定せずに、がん死亡が増加することが認められている。生殖機能、発生過程への影響は、ダイオキシンが内分泌攪乱作用を有すること、感受性が高いことから注目されている。免疫機能への影響については、ヒトでの影響はまだよくわかっていない。

(各種の血球細胞の増殖と分化を制御するタンパク質性の生理活性物質の総称)

#### ダイオキシン類のリスク評価

WHOは1998年にダイオキシンの一日耐容摂取量(TDI)を1~4 pg/kg/dayと改訂することを提案した。これを受けてわが国でもTDIを4 pg/kg/dayとした。今回の改訂においては、その根拠とした動物実験のエンドポイントとして、従来の発がんが変わって生殖・発生影響が採用された。さらに無作用量(NOEL)または最小影響量(LOEL)を不確実係数で割るやりかたに変えて、体内負荷量(body burden)アプローチが採用された。体内負荷量アプローチは、ある影響を及ぼす体内負荷量は種を越えてほぼ同じであるという前提に立っている。その影響の最小影響量に対応する体内負荷量をもとめ、その体内負荷量を定常状態で達成する一日摂取量を求める。その一日摂取量を不確実係数で割って一日耐容摂取量

(TDI)を求めている。ダイオキシン類の体内半減期は種によって大きく異なる(ラット, マウスでは10~20日に対し, ヒトでは7~11年)ため, 同じ体内負荷量に達する一日摂取量は種によって大きく異なることになる。今回のWHOのTDI改訂の根拠とされた動物実験のエンドポイントと, その最小影響量における体内負荷量, その体内負荷量に達するヒトの推定一日摂取量(EDI)を表2に示す。ここで求められたEDI, 14~37に不確実係数10を適用して1~4(1.4~3.7)pg/kg/dayが導かれた。

#### ダイオキシンと母乳

先に述べたようにヒトにおけるダイオキシンの最大の排泄経路は母乳である。近年, 母乳中のダイオキシン類の濃度は, 減少してきていると言われている。わが国においても, 大阪における調査でこの20年の間にダイオキシン類の濃度が約半分になったことが報告されている(図6)。最近の調査によれば, 日本人の母乳中のダイオキシン類濃度の平均値は22.2 pg/g fatであった。赤ちゃんが体重1kgあたり120ml母乳を飲むとすると, 体重1kgあたり一日約104pg摂取することになり, これは成人の一日耐容摂取量の26倍にあたる。一日耐容摂取量は生涯の曝露を基に決められているので, 約一年の間, 高い摂取があっても赤ちゃんの健康には大きな影響はないとされているが, そのリスクについてはまだ, 十分にわかっていないのが現状である。オランダで行われた大規模な母子の疫学調査によると, 子の健康指標は, 母乳よりも母体の体内蓄積量と, より関連していることが示唆されている。この結果からは, 母乳哺育を制限するよりも日々の摂取量を減らして母体の体内負荷量を

表-2 動物でのTCDDの体内蓄積量と, それに関連したヒトでの推定一日摂取量(EDI)

試験	反応 (LOAEL)	母親の体内蓄積量* (ng/kg)	関連するヒトでのEDI (pg/kg体重/日)
Grayら, 1997	ラット: 子孫の精子数減少(Rat)	28	14
Gehrsら, 1997; Gehrs & Smailowicz 1998	子孫での免疫抑制(Rat) (Rat)	50	25
Grayら, 1997	子孫での生殖器奇形の増加(Rat)	73	37
Schantzら, 1979	サル; 子孫での神経行動作用(object learning)(monkey)	42	21
Reierら, 1993	子宮内膜症(monkey)	42	21

\*バックグラウンドへの追加分

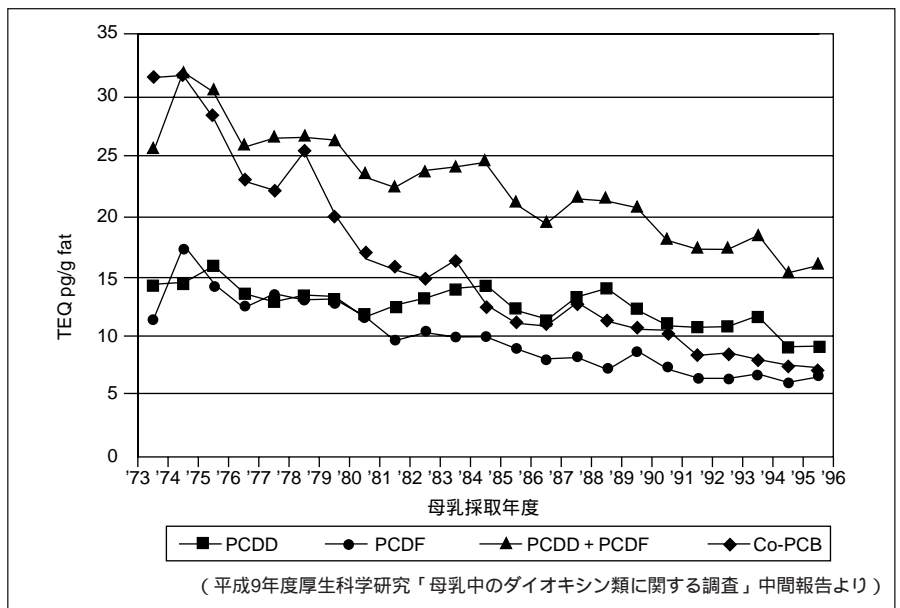


図-6 大阪府における母乳濃度の推移

減らすことが重要と考えられる。

おわりに

これまでみてきたように, わが国のダイオキシン問題の特徴は大きく3つあると考えられる。第一は, ゴミの焼却率が高く, ゴミ焼却からのダイオキシンの発生量が多いこと。第二は, 魚食が多く, 魚介類からのダイオキシン類の摂取が多いこと。第三に, かつて水田に大量に散布された除草剤に含まれていたダイオキシンが相当な環境への負荷になっていると考えられることである。第一の点は, ダイオキシン削減対策が始まり, 一般ゴミ焼却由来のダイオキシンが1998年度には前年に比べて1/3に減少したように, 今後とも減少が期待される。これに対して

産業廃棄物焼却由来, 未規制小型焼却炉由来のダイオキシンは, 減少が緩やかであり, 全体の排出に占める割合が増加しており, 早急な対策が必要である。それとともに, 家庭だけでなく, 製品においても廃棄物を少なくするようなライフスタイルをめざすことが検討されなければならない。第二, 第三の点は関連する可能性がある。土壌の汚染は, 河川, 海を汚染し沿岸の魚介類を汚染する。ゴミ焼却の対策を講ずれば大気中のダイオキシンは減少するが, 土壌汚染由来のダイオキシンはなかなか減少しないと考えられる。この過去の環境へのダイオキシンの負荷がどの程度, われわれの摂取量に寄与するのか解明する必要がある。